

Matière organique et pollution par les hydrocarbures dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew (mer Méditerranée, Algérie)

Roselyne BUSCAIL ^a, Ali Eddine FOUJIL-BOURAS ^{a,b}, Henri PAUC ^a

^a Centre de formation et de recherche sur l'environnement marin, université de Perpignan, 52, avenue de Villeneuve, 66860 Perpignan, France

^b Laboratoire de géologie marine, IST/USTAB, BP 32, El Alia, Alger, Algérie

(Reçu le 4 mars 1997, révisé le 23 janvier 1998, accepté le 3 février 1998)

Abstract – Characterization of the organic matter and hydrocarbon pollution in the surficial sediments of the Gulf of Arzew (southwestern Mediterranean, Algeria). The distribution of global organic parameters (organic carbon, nitrogen, hydrolyzable carbon) was established in surficial sediments of the Gulf of Arzew. Moreover, humic substances, humin and hydrocarbons have provided information on the organic matter origin and evolution in the identified sedimentary areas: prodeltas at the mouth of the dry rivers Cheliff and Macta; muddy mid-deposits and carbonated shallow environments. The higher organic matter concentrations characterize the muddy mid-deposits and especially the western part located near the Arzew and Bethioua harbours (TOC > 0.9 %; Nt = 0.35 % d.w.). The marine origin of the organic matter is supported by low C/N ratios (5–9) in the total sediments and the position in the Van Krevelen diagram of the humic acid H/C, N/C and O/C atomic ratios. The predominant marine character results from an important phytoplanktonic production. Only organic matter of the Cheliff prodelta is characterized by a double marine and continental signal. The degradation state of organic matter shows that the compounds are more degraded in the western part of the gulf, towards the east to west transfer of matter. The Arzew and Bethioua harbours areas are enriched in hydrocarbons (90–180 mg kg⁻¹) according to the N.S.A. norm (1975) and represent significant petrogenic pollution levels. © Elsevier, Paris / Ifremer / Cnrs / Ird

sediment / organic matter / humic substance / hydrocarbon / Algerian margin

Résumé – La distribution des concentrations des paramètres organiques globaux (carbone organique, azote, carbone hydrolysable) a été établie pour l'ensemble des sédiments superficiels du golfe d'Arzew. L'étude des substances humiques, de l'humine et des hydrocarbures a permis de définir l'origine et le degré d'évolution de la matière organique dans les principales unités sédimentaires identifiées : zones prodeltaïques au droit des embouchures des principaux oueds (Chélif et Macta), vasière centrale et hauts fonds carbonatés. La grande vasière située au centre du golfe est enrichie en matière organique ainsi que les zones portuaires d'Arzew et Béthioua (Corg > 0,9 % ; Nt = 0,35 % p.s.). Les rapports C/N des dépôts sont bas, compris entre 5 et 9 et correspondent à l'origine marine du matériel organique. L'analyse élémentaire des acides humiques montre, sur le diagramme de Van Krevelen (rapports atomiques H/C, N/C et O/C), leur appartenance au domaine marin. Cette origine marine résulte d'une importante production phytoplanctonique dans le golfe. Néanmoins, on note une exception au large de l'embouchure de l'oued Chélif, où la matière organique présente un caractère à la fois marin et continental. L'observation du degré d'évolution de la matière organique montre que celle-ci est plus évoluée dans la partie occidentale du golfe, dans le sens du transfert de matière de l'est vers l'ouest. Les zones portuaires de Béthioua et d'Arzew se sont révélées enrichies en hydrocarbures (90–180 mg kg⁻¹) par rapport aux normes établies par la N.A.S. (1975), indice d'une pollution pétrogénique significative. © Elsevier, Paris / Ifremer / Cnrs / Ird

sédiment / matière organique / substance humique / hydrocarbure / marge algérienne

1. INTRODUCTION

Une relation étroite existe généralement entre les caractéristiques du support sédimentaire (nature, granulométrie), la sédimentogenèse et les paramètres d'accumulation et d'évolution diagénétique de la matière organique [2, 10, 12, 26, 44, 53]. Par conséquent, la caractérisation de la matière organique d'un écosystème peut aider à la compréhension des processus de sédimentation pour intervenir dans la dynamique de protection de son environnement.

Il n'existe que peu de données concernant la géochimie organique des sédiments marins sur la marge algérienne [23, 34, 35]. Partant de la connaissance du support sédimentaire, des apports fluviaux et du schéma hydrodynamique, nous nous proposons d'étudier la composition organique des sédiments marins actuels du golfe d'Arzew (marge algérienne occidentale). Par ailleurs, au cours de son développement, l'Algérie a érigé le long de ses côtes d'importantes infrastructures d'industries pétrolières dont Arzew-Bethioua, Bejaia et Skikda, alimentées par des gazoducs et oléoducs depuis Hassi Messaoud (Sud algérien). Ces installations sont des sources potentielles de pollution par les hydrocarbures [4]. Le but de ce travail est double. D'une part, il convient d'établir la répartition spatiale des éléments (carbone et azote) et composés majeurs (substances humiques et humine) de la matière organique, afin d'en rechercher l'origine et le degré d'évolution. D'autre part, afin d'évaluer le risque, nous avons choisi de doser et de caractériser les hydrocarbures associés aux sédiments superficiels où ils s'accumulent préférentiellement [6, 16].

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude et prélèvements

Le golfe d'Arzew représente une des grandes unités du plateau continental algérien occidental. Il est compris entre le massif d'Arzew (cap Carbon, 0° 20'W) à l'ouest et le delta du Chéouli (cap Ivi, 0° 10'W) à l'est, ce qui lui confère un développement longitudinal d'environ 50 km. Deux fleuves d'importance très inégale l'alimentent, le Chéouli, majeur, à l'est et la Macta, mineure, à l'ouest. La circulation générale le long des côtes nord-africaines est créée par l'entrée compensatrice d'eau atlantique par le détroit de Gibraltar. Il en résulte un courant portant à l'est, plaqué à la côte par la dérive de Coriolis [33, 34, 40]. Dans le détail, la présence du golfe d'Arzew induit la formation d'un contre-courant côtier portant à l'ouest

[13, 34], ainsi qu'un phénomène de remontée d'eaux profondes dans sa partie occidentale [5, 50].

L'ensemble du plateau continental du golfe d'Arzew a fait l'objet d'un échantillonnage des sédiments superficiels à l'aide d'une benne preneuse de type Van Veen (*figure 1*). Les 5 cm superficiels de chaque échantillon ont été écrémés à la spatule et rapidement congelés. Ils ont été par la suite lyophilisés, afin d'en garder les propriétés chimiques initiales.

2.2. Analyse sédimentologique

La proportion de pélites (fraction granulométrique < 40 µm) a été estimée sur l'ensemble des échantillons de façon à définir les principaux faciès sédimentaires. L'analyse granulométrique de cette fraction fine a été réalisée à l'aide d'un sédi-graph et l'analyse diffractométrique a permis d'identifier la nature et les teneurs des différents minéraux argileux.

2.3. Analyse géochimique globale : carbone et azote

Le taux de carbone organique par rapport au poids de sédiment sec est obtenu par combustion dans un analyseur Leco type CS125 après acidification des échantillons avec de l'acide chlorhydrique 2N [14].

Le carbone organique hydrolysable (COH) correspond à la fraction hydrolysée du Corg total (COT) par HCl 6N pendant 16 h à 110 °C. Le carbone organique résiduel (COr) est dosé par combustion du culot de l'hydrolyse :

$$\begin{aligned} \text{COT} - \text{COr} &= \text{COH} \text{ puis } \text{COH}/\text{COT} \% \\ &= \% \text{ Corg hydrolysable [9].} \end{aligned}$$

L'azote total est mesuré par la méthode de Kjeldahl après minéralisation du sédiment. La mesure se fait dans un analyseur semi-automatique de type Büchi par dosage acidométrique de l'ammoniaque recueilli.

2.4. Analyse des substances humiques

Les substances humiques sont extraites par des solvants alcalins (0,1 N NaOH/1 % Na₄P₂O₇) après décarbonatation du sédiment par HCl 2N [19]. Après l'extraction des fractions solubles : acido-soluble, alcalino-soluble ou matières humiques (acides fulviques et acides humiques), le culot de sédiment subit une hydrolyse par HCl 6N pendant 16 h à 110 °C de façon à séparer l'humine hydrolysable de l'humine résiduelle.

Le carbone organique des fractions acido-soluble, des substances humiques totales et des acides fulviques est

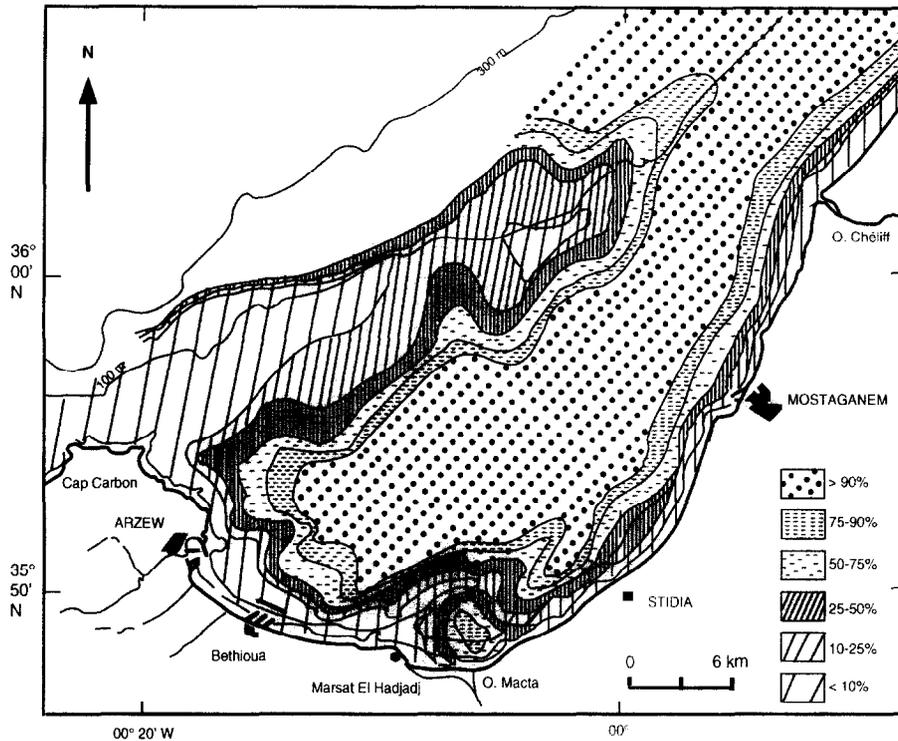


Figure 2. Distribution spatiale des teneurs en pélites dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew (Méditerranée sud-ouest).

Figure 2. Distribution of pelites in surface sediments of the Gulf of Arzew (southwestern Mediterranean).

bas). Une phase détritique terrigène allochtone, serait issue du continent grâce au ruissellement sur des terres à faible couvert végétal pendant les périodes semi-arides de hauts niveaux comparables au climat actuel en Afrique du Nord [42].

La sédimentation dans le golfe d'Arzew [23] résulte de cette double origine des sédiments (figure 2). On trouve les formations carbonatées biogènes autochtones dans la partie occidentale, depuis le cap Carbon jusqu'au large de Mostaganem, en limite de plateau continental. Au-delà vers l'est, ce faciès est en grande partie enfoui sous le sédiment plus récent. Les sédiments actuels sont fournis en majorité par le Chéiff qui livre, pendant les crues, un matériel détritique composé de silts et de vases argileuses. Ces apports transitent vers l'ouest et l'intérieur du golfe, sous l'effet des courants résiduels, construisant une large vaseuse en domaine infralittoral, par décantation des suspensions (faciès hyperboliques). Cette structure est en majorité formée par la fraction la plus fine du sédiment ($< 2 \mu\text{m}$). La fraction silteuse ($> 10 \mu\text{m}$) se répartit au contraire le long de la façade côtière dans les fonds de 40 m environ et surtout en position circalittorale, associée au faciès carbonaté. La fraction argileuse inférieure à

$2 \mu\text{m}$ est également bien représentée dans les dépôts situés à l'est et au large de la Macta avec des teneurs supérieures à 50 %.

Trois minéraux composent le cortège argileux : illite, kaolinite et smectite [42]. L'illite se répartit d'une manière à peu près uniforme dans le golfe d'Arzew. La kaolinite est surtout abondante au large du Chéiff à l'est et, dans une moindre mesure, de la Macta à l'ouest. Elle constitue un apport fluvial dominant. La smectite, minéral le plus réactif du cortège argileux présent, provient des apports fluviaux mais aussi de l'altération des formations éruptives des îles Habibas, de sorte qu'elle se répartit très largement dans les sédiments fins du golfe, aussi bien en position infralittorale qu'en position circalittorale.

3.2. Distribution de la matière organique : carbone et azote

3.2.1. Distribution du carbone organique

Les sédiments superficiels du golfe d'Arzew renferment de 0,2 à 1,2 % de carbone organique total (COT) en poids sec (figure 3). Leur fraction pélitique seule ($< 40 \mu\text{m}$) est

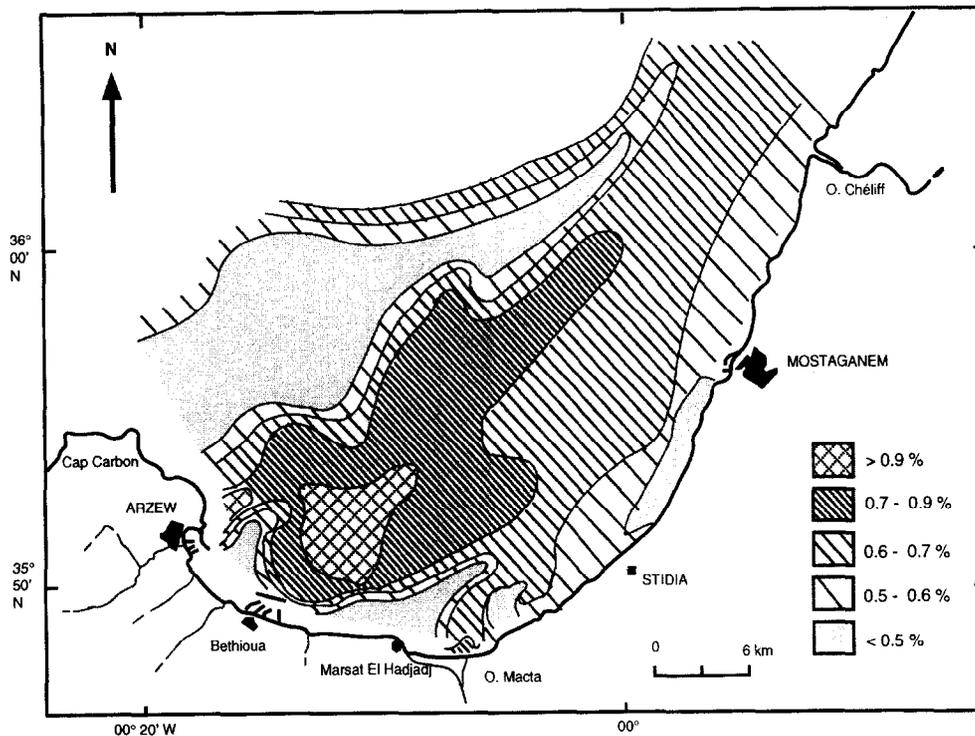


Figure 3. Distribution spatiale des teneurs en carbone organique dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew (Méditerranée sud-ouest).

Figure 3. Distribution of organic carbon in surface sediments of the Gulf of Arzew (southwestern Mediterranean).

plus riche (0,6 à 1,8 %). Les dépôts les plus fins, situés dans la grande vasière infralittorale, contiennent entre 0,7 et 0,9 % de COT. On relève les teneurs les plus élevées, aussi bien par rapport au sédiment total que par rapport à la fraction fine, à proximité des deux ports d'Arzew et de Béthioua, à l'ouest du golfe. À l'inverse, les sédiments issus de la source détritique du Chélif, au large et à l'est de Mostaganem, sont plus pauvres en COT (0,5 à 0,6 %) au contraire des apports de la Macta qui en sont mieux pourvus (0,7 à 0,9 %) ainsi que la zone d'herbiers à Posidonies de Stidia. La zone physiographique la plus pauvre est celle du faciès carbonaté circalittoral et infralittoral. La majorité du carbone organique est piégé dans les argiles fines de la mince couche superficielle (crème de vase) recouvrant ces formations bioclastiques.

3.2.2. Distribution du carbone hydrolysable

Le carbone hydrolysable représente pour la majorité des sédiments du golfe d'Arzew une proportion importante, supérieure à 50 % du carbone organique total (figure 4). Les dépôts infralittoraux situés depuis l'embouchure du Chélif jusqu'au cap Carbon contiennent plus de 45 % de carbone hydrolysable, ainsi que ceux de la région carbo-

natée circalittorale. À droite de l'oued Macta, les valeurs sont faibles à l'embouchure, mais augmentent au nord-est de celle-ci. Les pourcentages les plus élevés (61 à 75 %) sont observés, à proximité des ports d'Arzew et de Béthioua, le long de la côte ouest du golfe et à l'embouchure de l'oued Chélif dans la crème de vase oxydée de surface. En revanche, dans la vasière centrale le carbone hydrolysable est moins présent (inférieur à 45 %).

3.2.3. Distribution de l'azote et rapport C/N

L'azote contenu dans les sédiments du golfe d'Arzew constitue entre 0,05 et 0,35 % de leur poids sec. Les dépôts les plus riches sont trouvés à proximité du port d'Arzew (0,35 %). Les plus pauvres sont les faciès grossiers de la région du cap Carbon et de la bordure littorale (0,05 à 0,09 %). Ailleurs, les pourcentages sont moyens, de 0,13 à 0,20 % dans la vasière centrale et les apports fluviaux. Dans la fraction pélitique, les teneurs en azote sont généralement du même ordre de grandeur que celles du sédiment total (0,09 à 0,21 %). Seule la fraction fine des sédiments carbonatés circalittoraux est enrichie en azote, qui est par conséquent associée aux argiles.

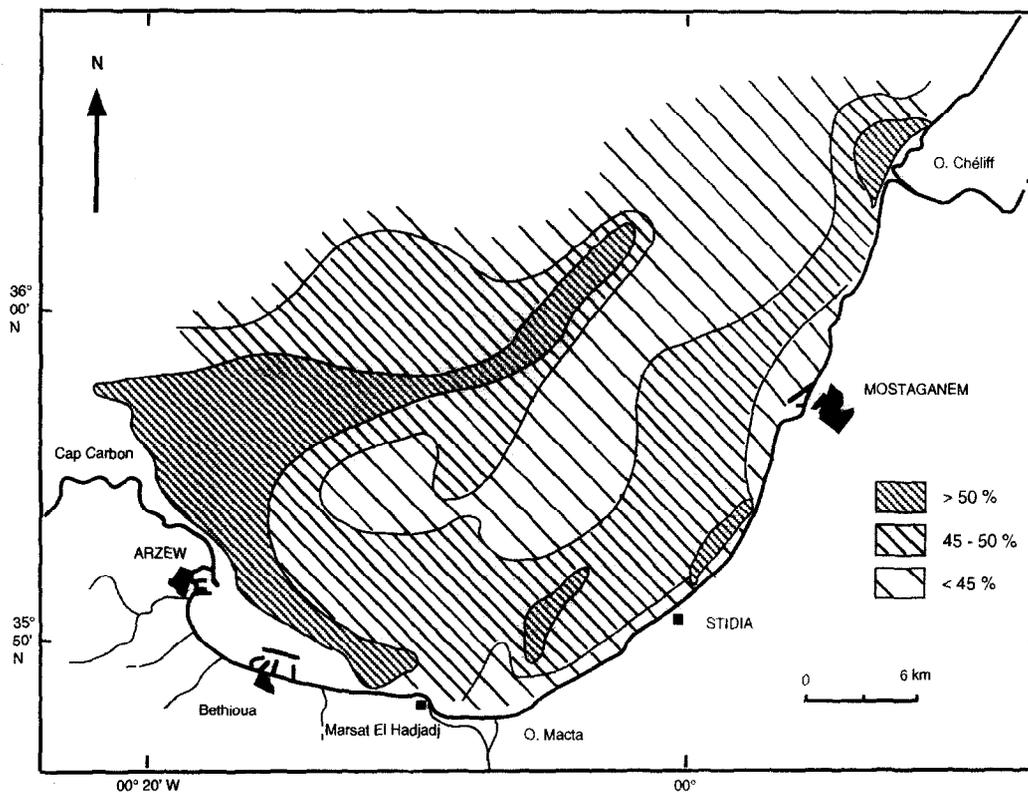


Figure 4. Distribution spatiale des teneurs en carbone organique hydrolysable dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew (Méditerranée sud-ouest).

Figure 4. Distribution of hydrolysable organic carbon in surface sediments of the Gulf of Arzew (southwestern Mediterranean).

Les dépôts ont été classés selon la valeur du rapport C/N défini par Müller [38]. Dans le golfe d'Arzew, les valeurs de ce rapport sont pour la plupart comprises entre 5 et 7 (figure 5). Dans la fraction fine ($< 40 \mu\text{m}$), le rapport est légèrement plus élevé (5 à 10). Seules deux stations situées au cœur de la vase centrale ont des rapports C/N largement supérieurs à 9 (15 et 18). Dans cette zone, la matière organique présente une diminution notable des composés azotés (0,04 %), comparativement au carbone organique. Si l'on compare le rapport C/N des dépôts situés aux droit des embouchures des oueds, il s'avère qu'il est plus élevé devant l'oued Macta (7-9) que devant l'oued Chélif (5-6).

3.3. Substances humiques et humine

La variabilité de la nature des substances humiques a été étudiée à partir de six échantillons choisis selon leur position par rapport au schéma dynamique sédimentaire. Il s'agit des zones d'embouchures des oueds Macta (25) et Chélif (CH5, CH2), de la vase centrale (32, 12) et au

large de la zone portuaire d'Arzew-Béthioua (11). Ces stations sont soulignées sur la figure 1.

3.3.1. Bilan des différentes formes du carbone.

Le carbone de la fraction acido-soluble (Cas) est très peu abondant (2 à 4 % du COT) (figure 6). Peu représenté devant le Chélif et dans le faciès carbonaté circalittoral, il est cependant plus important dans la vase centrale, la Macta et surtout devant les zones portuaires.

Le pourcentage de carbone lié aux substances humiques est appelé taux d'humification. Les sédiments du golfe d'Arzew possèdent des taux d'humification très variables (8 à 60 %) (figure 6). Ces deux extrêmes sont le centre du golfe (60 %) et la station située au droit de l'oued Macta (8,3 %).

Le carbone des acides fulviques (CAF) distingue aussi trois ordres de grandeur. Les sédiments situés devant la Macta en contiennent le minimum (3,6 %), le maximum relatif se trouve dans les sédiments à l'ouest du Chélif et

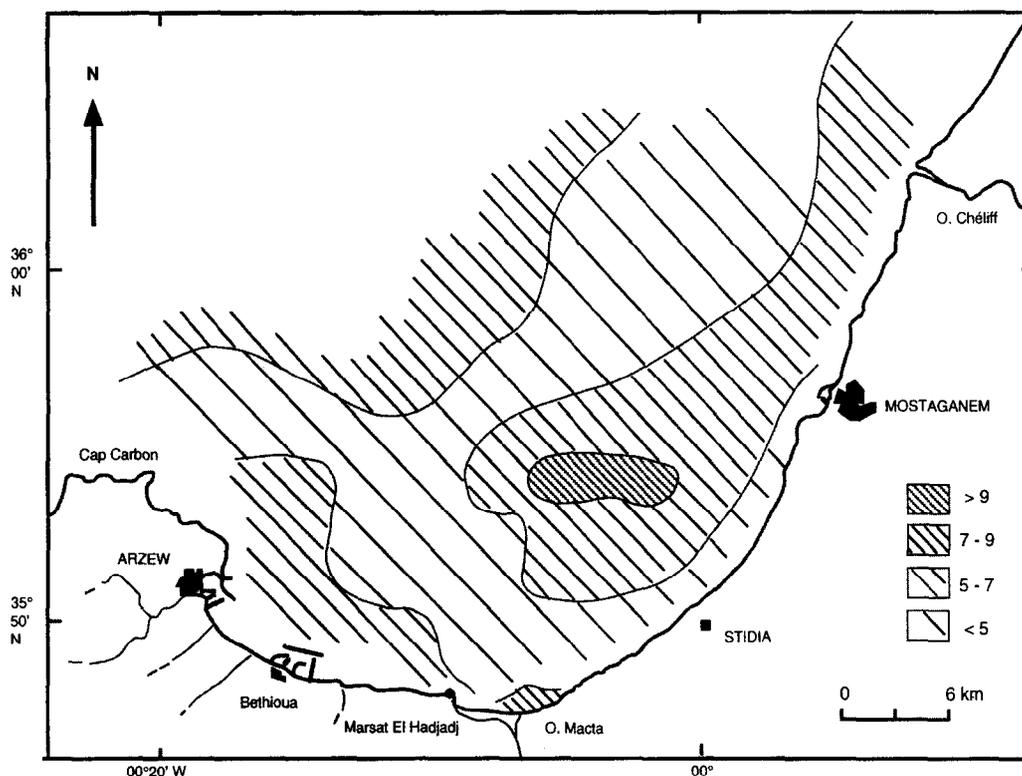


Figure 5. Distribution spatiale des rapports carbone sur azote (C/N) des sédiments superficiels du golfe d'Arzew (Méditerranée sud-ouest).

Figure 5. Distribution of the carbon versus nitrogen ratios (C/N) in surface sediments of the Gulf of Arzew (southwestern Mediterranean).

la vasière infralittorale (23 à 28 %), les autres zones étant caractérisées par des valeurs intermédiaires (15 à 19 %).

La proportion de carbone des acides humiques (CAH) est la plus importante dans la vasière centrale (43 %) ; elle est moyenne devant le Chélif et dans les vases infralittorales (20 à 21 %). Des pourcentages inférieurs caractérisent l'ouest du Chélif et la zone d'Arzew (11 à 14 %) ; les plus faibles valeurs se trouvent devant la Macta (4,6 %).

Le carbone de l'humine (CH) varie entre une valeur minimale de 38 % dans la vasière centrale et une valeur maximale de 89 % à l'embouchure de l'oued Macta (figure 6). À proximité de l'oued Chélif, la proportion de carbone correspondant à l'humine est également forte (55 à 60 %).

3.3.2. Analyse élémentaire et spectrométrie infrarouge des acides humiques

Les rapports atomiques H/C, N/C, S/C et O/C des acides humiques sont reportés sur le diagramme de Van Krevelen [52] qui définit des domaines d'existence en fonction de leur origine et de leur degré d'évolution. Dans le golfe d'Arzew, les valeurs du rapport H/C varient peu de 1,1 à

1,4 (figure 7a). Les stations situées à proximité de l'embouchure de l'oued Chélif présentent les valeurs H/C les plus faibles (1,1 et 1,15) dans des dépôts où 90 % du matériel est pélitique. En revanche, les rapports N/C sont relativement forts (0,092 et 0,068) (figure 7a). Les acides humiques des sédiments de la vasière centrale, ainsi que ceux de l'embouchure de l'oued Macta, possèdent des rapports H/C (1,2 et 1,4) et N/C (0,077 et 0,085) parmi les plus forts. En ce qui concerne le soufre, les rapports S/C de ces stations montrent des différences très marquées, avec un maximum pour CH2 (S/C = 0,046) et un minimum pour CH5 (S/C = 0,005) (figure 7b). La valeur du rapport S/C est relativement élevée dans la zone profonde de la vasière (S/C = 0,023).

La spectrométrie infrarouge des acides humiques rend compte de la présence de divers groupements fonctionnels qui renseignent sur l'origine et le degré d'évolution des composés organiques [19, 45]. Les positions et les attributions des bandes infrarouges mises en évidence sont consignées dans le tableau I.

À toutes les stations, les groupements aliphatiques sont bien mis en évidence par les vibrations de déformation

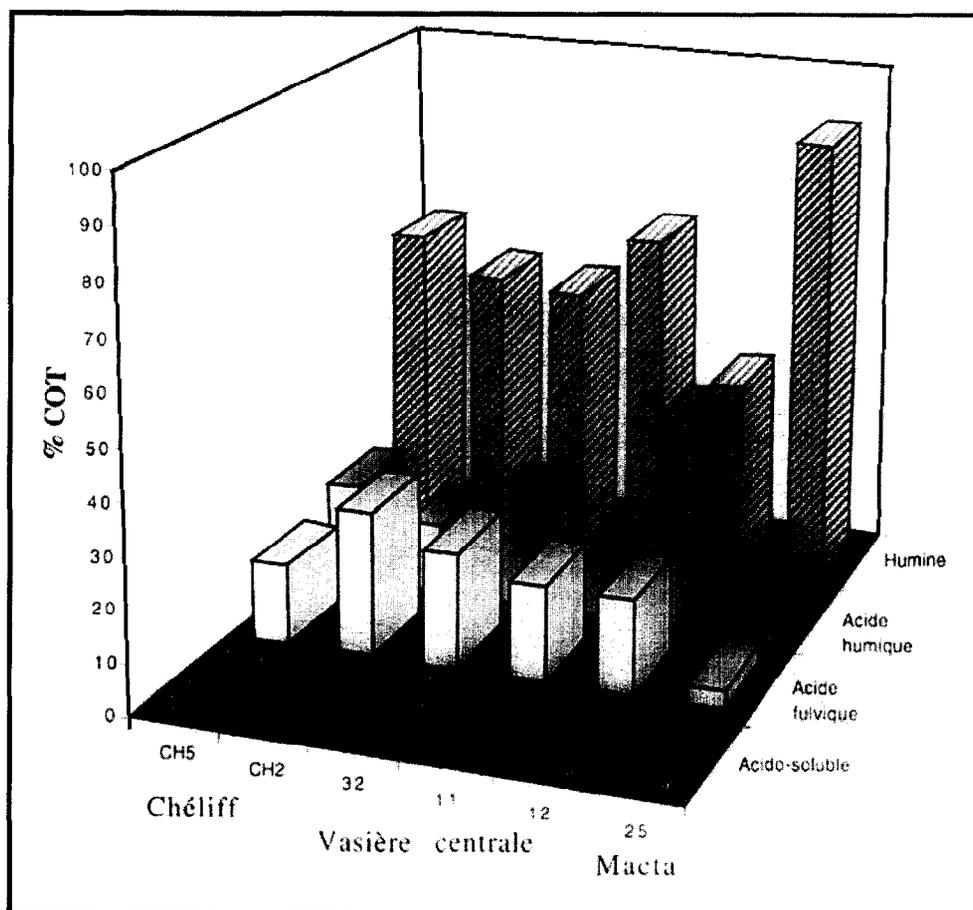


Figure 6. Variation des fractions solubles et insolubles (%/TOC) de la matière organique extraite de six sédiments superficiels du golfe d'Arzew (Méditerranée sud-ouest).

Figure 6. Variations of the soluble and insoluble fractions (in %TOC) of the extracted organic matter in six surface sediments of the Gulf of Arzew (southwestern Mediterranean).

Tableau I.

| Position (cm ⁻¹) | Particularité | Attribution |
|------------------------------|---------------|---|
| 3330 | Large | Liaison NH peptidique |
| 3200 | Épaulement | Vibration de valence OH carboxylique |
| 2960 et 2850 | Double | Vibrations de déformation C-H aliphatique |
| 1710 | Épaulement | Vibration de valence C = O carboxylique |
| 1660 | Épaulement | Amide 1 liaison peptidique -NH |
| 1610-1630 | Épaulement | Vibration de valence C = C aromatique |
| 1540 | Épaulement | Amide 2 liaisons peptidique -NH |
| 1400 | Épaulement | Vibration C OOH acide |
| 1100 | Épaulement | Vibration des silicates Si-O |
| 1040-1050 | Épaulement | Vibration des ponts C-O-C des sucres |

C-H aliphatique entre 2850 et 2960 cm⁻¹ ainsi que la bande amide 2 -NH à 1540 cm⁻¹ et la bande amide 1 -NH à 1660 cm⁻¹. Ces caractères traduisent une origine principalement marine de la matière organique. La bande à 1040 cm⁻¹ des hydrates de carbone, également bien marquée pour tous les milieux, a probablement aussi une origine marine. En effet, les hydrates de carbone composent de 40 à 80 % du poids sec du phytoplancton [28]. Les stations situées devant les oueds Macla et Chélif présentent la particularité de posséder le groupement carboxylique C = O (quinones, cétones) à 1710 cm⁻¹, tout comme la vibration C = C aromatique à 1610-1630 cm⁻¹. D'après Gadel [24], la présence accentuée de ces groupements dénoncerait des substances humiques formées à partir de phanérogame enrichies en lignine.

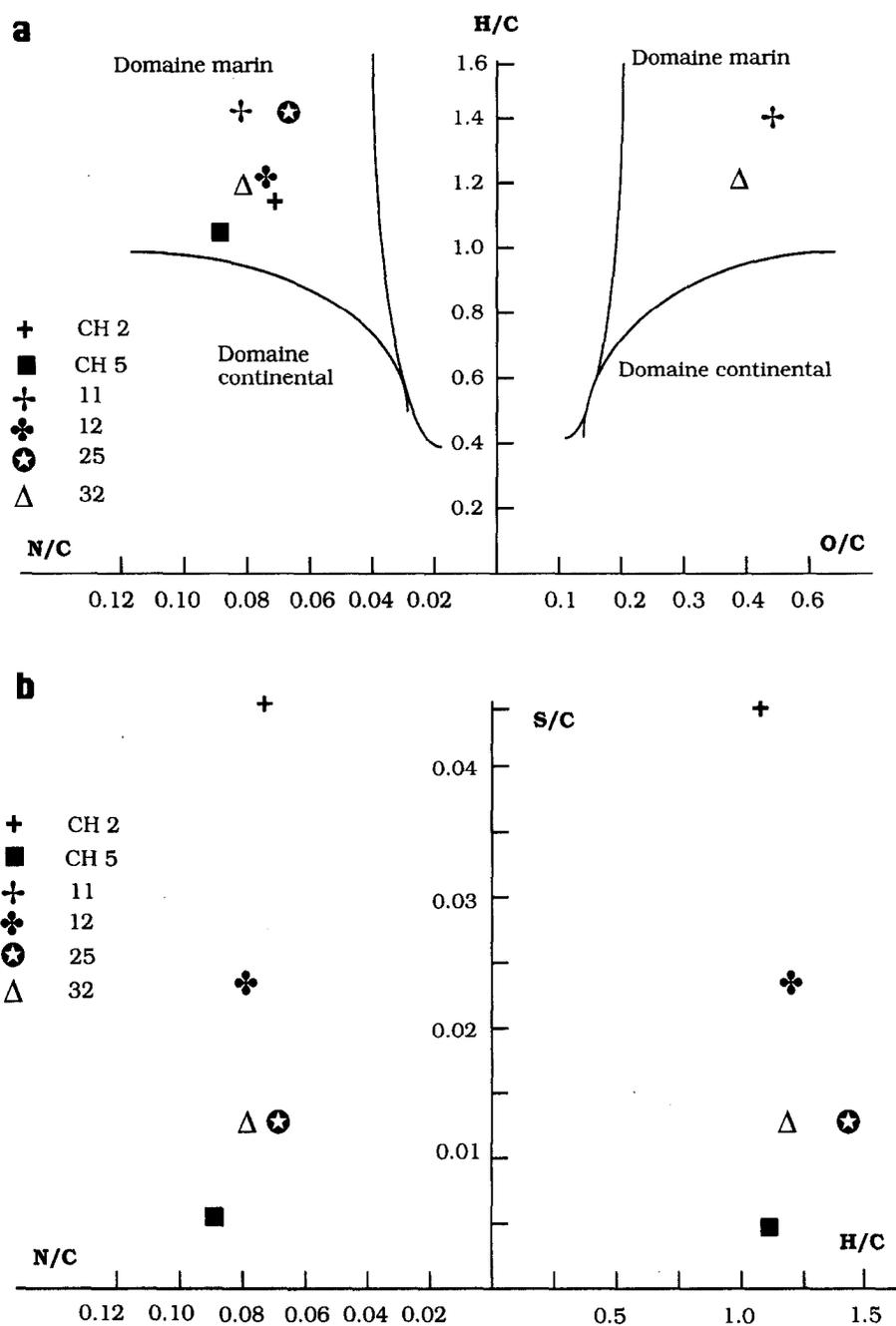


Figure 7. Position sur les diagrammes de Van Krevelen des rapports atomiques H/C, N/C et O/C (a) et S/C, N/C et H/C (b) des acides humiques extraits des sédiments superficiels du golfe d'Arzew (Méditerranée sud-ouest).

Figure 7. Location on Van Krevelen diagrams of the H/C, N/C and O/C (a) and S/C, N/C and H/C (b) atomic ratios of humic acids from surface sediments of the Gulf of Arzew (southwestern Mediterranean).

3.4. Hydrocarbures

Les hydrocarbures ont été extraits de sédiments du centre du golfe et de la partie sud-ouest, à proximité des ports de

Béthioua et Arzew. L'analyse quantitative a révélé des teneurs en hydrocarbures totaux de 97, 153 et 185 mg·kg⁻¹ (p.s.). Ces teneurs sont considérées comme élevées compte tenu de la norme seuil fixée à 70 mg·kg⁻¹

par la *National Academy of Sciences* des États-Unis (N.A.S., 1975 in [32]) et traduisent donc une pollution assez significative. La zone la plus touchée par cette pollution se trouve à proximité immédiate des deux ports (teneurs supérieures à $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Afin de déterminer la nature et l'origine des hydrocarbures extraits, ceux-ci ont été fractionnés sur colonnes de silice, puis analysés par chromatographie en phase gazeuse. Les pourcentages relatifs des hydrocarbures saturés et aromatiques (migrant à l'hexane) par rapport aux hydrocarbures totaux sont mentionnés ci-dessous (*tableau II*) :

Tableau II.

| Stations | Hydrocarbures saturés (%) | Hydrocarbures* aromatiques (%) |
|----------|---------------------------|--------------------------------|
| Arzew | 78,3 | 21,7 |
| Bethioua | 75,4 | 24,6 |
| Vasière | 67,0 | 33,0 |

Les chromatogrammes des fractions saturées montrent des dômes appelés *Unresolved Complex Mixture* correspondant à la présence d'alcane cycliques ramifiés ou non, constituant un mélange complexe d'hydrocarbures [36, 41, 48]. Le massif UCM paraît bien marqué pour l'échantillon situé à proximité de Béthioua, évoquant une origine pétrolière, tandis que l'échantillon du large ne présente pas d'UCM (*tableau III*). Les valeurs des rapports caractéristiques relatifs aux alcanes normaux : Cpair/Cimpair (CP/CI) ; nC17/Pristane ; nC18/Phytane ; n-alcanes/nC16 permettent d'évaluer les différentes sources (terrigène, marine ou pétrogénique) [16, 41].

Tableau III.

| Échantillons | nC17/Pr | nC18/Ph | CP/CI | n-alcanes/ nC16 |
|--------------|---------|---------|-------|--------------------|
| Vasière | 1,9 | 3,3 | 0,83 | 12,6 |
| Bethioua | 2,3 | 3,8 | 0,76 | 13,8 |

Ces résultats plaident en faveur d'une origine pétrogénique des hydrocarbures de la région d'Arzew-Béthioua, puisque les CPI sont voisins de 1 (0,83 et 0,76) et que les valeurs des rapports des n-alcanes sur nC16 sont proches de 15 (12,6 et 13,8). Par ailleurs, les rapports nC17/Pr et nC18/Ph sont très forts (1,87 et 3,8) ce qui est caractéristique de la dégradation de produits pétroliers [17]. En ce

qui concerne ces rapports, on pense qu'il y a eu biodégradation de produits pétroliers dérivant d'un pétrole de même origine (gisement d'Hassi Messaoud).

4. DISCUSSION

4.1. Distribution de la matière organique

Le schéma de distribution du carbone organique dans le golfe d'Arzew rend compte de fortes teneurs se situant dans le secteur central envasé de la baie ainsi qu'à l'ouest à proximité des ports. Ce maximum relatif est probablement à relier à l'accroissement de la population et des activités industrielles que connaît la région, par le biais de rejets directs à la mer, sans traitement ni épuration. Par ailleurs, les apports fluviaux de la Macta et ceux du Ché-liff, probablement en liaison avec la très grande différence de taille et de fonctionnement entre les deux écoulements, produisent des sédiments dont le contenu organique est quantitativement très différent. Les faciès carbonatés circalittoral et infralittoral, du fait de leur texture qui permet une grande circulation de l'eau, ne retiennent que très peu de matière organique.

On retrouve cette distribution avec les mêmes faciès dans la baie d'Alger [35]. Les teneurs en Corg sont du même ordre de grandeur, comprises entre 0,3 et 1,5 %, et correspondent à des zones physiographiques identiques (vasière, dépôts organogènes). Dans le nord-ouest de la Méditerranée, sur le plateau continental du golfe du Lion, les teneurs en carbone organique s'échelonnent entre 0,3 et 1,5 %. Le secteur d'accumulation maximale des vases circalittorales (50 à 200 m), est caractérisé par les teneurs les plus faibles : 0,4 à 0,6 % [12]. Les zones enrichies sont les dépôts prodeltaïques des fleuves : le Rhône (1,5 %), l'Aude (1,5 %), la Têt (1 %), comme on le constate pour les dépôts de la Macta. Un lien étroit entre la matière organique et la fraction fine des dépôts a été mis en évidence lors de travaux antérieurs [9, 12, 21, 25]. Sur le prodelta silto-vaseux de la Têt (plateau continental du golfe du Lion) la concentration en carbone organique dans la fraction pélitique inférieure à $40 \mu\text{m}$ est de 1 %, mais ne représente qu'une faible part du COT. Dans ce type de dépôt, la majorité du carbone est issu de débris organiques (végétaux terrestres, fragments charbonneux, algues, etc.) qui constituent en moyenne 90 % du COT [12]. En revanche, dans les dépôts de la pente continentale du golfe du Lion, de granulométrie plus fine (90 %

de pélites), la majorité du carbone organique est associée à la fraction pélitique [9–11].

Les sédiments du golfe d'Arzew renferment, comme ceux de la baie d'Alger, des teneurs en azote total plus élevées (0,09 % à 0,16 %) que ceux du golfe du Lion (0,03 à 0,09 %) [12, 35]. Il est probable, comme cela a été observé par ailleurs, que la forte production phytoplanctonique reconnue et établie au large d'Arzew [5, 50] en soit la cause [27, 30, 46]. Les organismes autotrophes unicellulaires comme les algues planctoniques sont notablement plus riches en azote (35 à 45 % p.s.) que les végétaux supérieurs [28].

4.2. Origine et état d'évolution de la matière organique

4.2.1. Fraction labile du carbone

Le carbone hydrolysable représente la fraction labile du carbone organique contenu dans les sédiments marins. Il correspond principalement aux acides aminés, aux sucres, aux amino-sucres et à l'ammoniaque. La matière organique sédimentaire contient d'autant plus de carbone hydrolysable (> 50 % du COT) qu'elle se rapproche du matériel vivant et qu'elle est donc peu évoluée [18] et/ou déposée en milieu oxydant [43]. Andreux et al. [3] ont remarqué que plus l'aromaticité de la matière organique est élevée et plus la quantité de matériel hydrolysé est faible. De plus, la présence de complexes liés aux minéraux argileux ou de certains cations peut inhiber ou, au contraire, accentuer l'hydrolyse de la matière organique.

La matière organique de la vasière du golfe d'Arzew est plus labile (33 à 75 %) que celle de la baie d'Alger (22 à 57 %) [35] ou du plateau continental catalan (30 à 60 %) [12]. Dans les faciès carbonatés infralittoral et circalittoral, les taux élevés de carbone hydrolysable traduisent la présence d'une matière organique peu évoluée, probablement autochtone, en liaison avec la forte productivité locale. En revanche, les faibles proportions de carbone hydrolysable à l'embouchure de l'oued Macta résultent des apports de matière organique continentale peu labile, issue des marais de la basse vallée.

4.2.2. Rapport C/N

La valeur du rapport carbone sur azote d'un sédiment renseigne sur l'origine et le degré d'évolution de la matière organique qu'il renferme. Une valeur du rapport C/N élevée (> 10), traduit plutôt une origine terrestre, due

à la faible teneur en azote des végétaux supérieurs [38]. En revanche, un rapport C/N faible (< 6) implique une source d'apport planctonique ou algaire, donc d'origine marine [37, 39]. Néanmoins, l'interprétation de ce rapport est souvent délicate, car l'azote étant plus sensible à la dégradation que le carbone, un rapport C/N élevé peut aussi indiquer la présence de débris organiques dégradés, ou déjà fortement minéralisés [31, 47].

Au droit de l'oued Chélif, les rapports C/N sont faibles, comme au droit de l'oued Hamiz (baie d'Alger) [35]. Ces oueds traversent des zones de climat semi-aride, pauvres en végétation, notamment pour l'oued Chélif. En revanche, la production primaire phytoplanctonique, importante aussi bien en estuaire qu'au débouché en mer [5], l'emporterait sur les apports de végétaux supérieurs. En résumé, comme pour les sédiments de la baie d'Alger, [35], ceux d'Arzew ont des rapports C/N assez faibles traduisant l'existence d'un matériel organique d'origine essentiellement marine, par manque d'apports fluviaux. Le matériel organique associé aux particules les plus fines connaît généralement des temps de résidence et de transport dans la colonne d'eau plus longs et, de ce fait, atteint l'interface sédimentaire avec un caractère plus dégradé car l'azote a préférentiellement disparu. C'est ainsi que les rapports C/N de la fraction inférieure à 40 μm des sédiments d'Arzew sont en moyenne plus élevés que ceux du sédiment total.

À l'opposé, dans le golfe du Lion les sédiments de surface du prodelta du fleuve Têt ont un rapport C/N de 11 (moyenne annuelle) correspondant à un caractère plutôt continental et évolué. Dans ce milieu, les valeurs du rapport C/N varient toutefois de 5 à 26 selon les saisons et les types d'apports en matière organique. Les plus basses valeurs sont notées au printemps et en été lors des *blooms* planctoniques, les plus fortes, en automne lors de la crue du fleuve [12]. Dans le golfe d'Arzew, l'échantillonnage actuel, ne permet pas de mettre en évidence l'existence de telles variations saisonnières.

4.2.3. Humification de la matière organique

La répartition relative des diverses fractions géochimiques (acido-soluble, substances humiques, humine) traduit la variabilité du degré de polymérisation et de condensation de la matière organique.

Les plus forts taux d'humification caractérisent les dépôts de la vasière centrale ainsi que ceux à proximité du Chélif, en relation avec une matière organique majoritairement d'origine planctonique. La teneur la plus élevée en

acides humiques, (rapport AF/AH très faible), à la station la plus profonde au centre du golfe, semble traduire une intensification des processus de polymérisation conduisant à l'humification [29]. Seule la station de la Macta est particulièrement appauvrie en matières humiques, pour des apports de matière organique a priori plus évoluée. Pour trois des stations riches en humus, le rapport AF/AH > 1 traduit une plus grande richesse en matériel d'origine algale [24]. De plus, les acides fulviques sont également créés par oxygénation des acides humiques et des résidus stables (humine) lors du transfert dans la masse d'eau [51]. Dans le golfe d'Arzew, de tels processus entraîneraient une dégradation des composés les plus condensés au cours du transit selon la circulation du NE vers le SW. Les teneurs en C acido-soluble qui augmentent d'est en ouest viennent à l'appui de cette hypothèse. Vandénbroucke et al. [51] ont montré l'augmentation des fractions hydrolysable et acido-soluble de la matière organique avec des temps de transport croissants.

L'humine est la fraction de la matière organique qui reste insoluble lors de l'extraction des composés humiques [19, 20]. L'insolubilisation de l'humine est partiellement due à son intime association avec les argiles, mais résulte également de la composition et de la structure propre de la matière organique (degré de condensation élevé, présence de nombreuses fonctionnalités). Dans le golfe d'Arzew, la proportion d'humine varie entre 35 et 90 % du carbone organique total. Pour le milieu marginal du golfe du Lion, l'humine représente aussi une fraction majoritaire (90 % du COT à 25 m, 60 % à 650 m), alors que plus profond, à 1700 m, elle ne constitue plus que 30 % du COT [10]. Dans le golfe d'Arzew, au droit de l'oued Macta, à une très faible proportion de matières humiques correspond le taux d'humine le plus élevé, témoin d'un fort degré de géopolymérisation d'une matière organique ayant subi un premier stade de dégradation dans les marais côtiers dont elle est issue. Par comparaison, dans les sédiments du prodelta de la Têt, la proportion d'humine est aussi très élevée (61 % du COT) en automne au moment de l'accentuation des apports continentaux lors de la crue du fleuve [12].

Dans le golfe d'Arzew, les valeurs des rapports H/C et N/C des acides humiques et leurs principaux groupements fonctionnels révèlent l'importance de la production autochtone planctonique comme source de matière organique sédimentaire [9, 12, 29]. Toutefois, de façon localisée, devant les oueds Macta et Chélif, l'empreinte continentale a été mise en évidence.

Le caractère marin des acides humiques de la vase centrale, qui présentent les rapports H/C les plus élevés, est confirmé par l'existence de bandes aliphatiques bien marquées. Ces acides humiques présentent des similitudes avec ceux des sédiments de la baie d'Alger où les rapports H/C et N/C sont élevés et où les groupements aliphatiques et amides II (bande à 2960 cm^{-1} et 1550 cm^{-1}) sont relativement abondants, tandis que le groupement carboxylique C = O est au contraire réduit [35]. Dans le golfe du Lion, au printemps, une aliphatité bien marquée (bande 2850 et 2960 cm^{-1} des CH₂) et des bandes amides I à 1660 cm^{-1} et amides 2 à 1540 cm^{-1} traduisent l'augmentation des apports frais de matériel planctonique au niveau du fond [11, 12].

Les acides humiques de l'embouchure du Chélif présentent les valeurs H/C (1 et 1,15) les plus faibles, se rapprochant de celles du golfe de Guinée (0,9) ou de l'embouchure de l'Amazone (1,0) où les apports continentaux sont importants [24]. Les groupements carboxyliques, appartenant à des quinones, cétones et acides organiques marqueurs d'une origine terrestre du matériel organique, sont mieux marqués en zone littorale directement soumise aux apports de l'oued et, en revanche, réduits ailleurs dans le golfe.

Les sédiments déposés au droit de l'embouchure de l'oued Macta sont caractérisés par un rapport H/C de 1,4 élevé pour une zone d'apports fluviaux. Les tapis d'herbiers alguaire, abondants de part et d'autre du site de prélèvement, sur l'anticlinal sous-marin de Marsat-El-Hadjadj, mais surtout au large de Stidia, sont probablement à l'origine de ce rapport élevé (H/C = 1,5 pour les ulves, les chaetomorphes et les entéromorphes [24].

Les conditions d'oxydo-réduction influent sur le rapport S/C, qui est élevé dans les milieux réducteurs et faible dans les milieux oxydants [24, 49]. Dans tous les échantillons, le soufre des acides humiques est bas, en relation avec une crème de vase de surface oxydée. Seule la station la plus au large de l'embouchure de l'oued Chélif présente un enrichissement en soufre. La présence de micromilieus réduits (sulfato-réduction) dans la couche oxydée de surface en est peut être localement l'explication, comme cela a été décrit par Bouvy [7] dans d'autres milieux peu profonds.

4.3. État de la pollution des sédiments par les hydrocarbures

En milieu marin, les sédiments fins sont capables d'adsorber des quantités importantes d'hydrocarbures

[6, 16, 41]. Dans la partie sud-occidentale du golfe d'Arzew, les sédiments contiennent jusqu'à deux fois plus d'hydrocarbures que les normes N.A.S. Ces hydrocarbures sont d'origine pétrogénique compte tenu de leur nature.

À titre de comparaison, les sédiments du golfe du Lion situés dans le secteur des grandes raffineries de Lavera, Berre et Frontignan, en contiennent $250 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, soit des concentrations doubles, et étalées sur une surface bien plus grande [1]. Il en résulte que, si la pollution par les hydrocarbures existe effectivement sur la marge algérienne, elle est encore limitée et circonscrite aux zones d'apport, d'embarquement et de raffinage.

5. CONCLUSION

Le golfe d'Arzew est caractérisé par deux types de sédimentation :

(1) une sédimentation essentiellement terrigène détritique, issue des apports de sédiments fins par l'oued Chélif. Ce matériel sédimentaire transite et se distribue du nord-est vers le sud-ouest et occupe la partie centrale du golfe entre 40 et 80 m de profondeur.

(2) une sédimentation organogène couvre toute la zone infralittorale de la partie occidentale du golfe et surtout la zone circalittorale entre 80 et 120 m de profondeur. Cette bande organogène s'étale en s'amincissant depuis le cap Carbon jusqu'au nord-ouest de Mostaganem.

La distribution de la matière organique dans le golfe d'Arzew résulte d'une dynamique sédimentaire naturelle au sein de laquelle apparaissent quelques signaux anthropiques localisés (augmentation des teneurs, présence d'hydrocarbures). La matière organique enrichit plus particulièrement les dépôts fins de la partie centrale envasée du golfe. Elle est réduite dans les formations organogènes en relation avec l'importance des grains grossiers carbonatés et l'hydrodynamisme actif qui participe à sa rapide destruction par une oxygénation exacerbée du milieu.

L'origine marine autochtone de la matière organique est prépondérante, malgré les apports de l'oued Chélif, comme le prouve les faibles valeurs du rapport C/N. L'azote est attribué à une importante participation phytoplanctonique, conséquence de la richesse en sels nutritifs de l'eau du golfe. Seuls les dépôts situés au droit de l'oued Chélif présentent une empreinte d'origine continentale dans leur matériel organique. Ce signal est décelé par les faibles valeurs des rapports atomique H/C des acides humiques et par l'existence de groupements carboxyles marqueurs des végétaux supérieurs terrestres et d'acides organiques issus du lessivage des sols.

En fonction du milieu de sédimentation ou de la nature du matériel sédimenté, on constate que l'état de la matière organique contenue dans les dépôts varie. La matière organique est de plus en plus évoluée depuis le large du Chélif, jusqu'à la fermeture occidentale du golfe, dans le sens du transfert des particules. Elle est peu évoluée dans les dépôts de la vase centrale où une contribution algale semble bien marquée. Dans les zones infralittorale et circalittorale de la partie occidentale du golfe, le matériel organique est plus évolué qu'ailleurs, par suite d'une diminution des composés azotés, plus facilement dégradés dans un type de milieu à l'hydrodynamisme actif.

La côte ouest du golfe est bordée par les importantes infrastructures industrielles d'Arzew et de Béthioua. Les échantillons prélevés dans cette zone contiennent des teneurs en hydrocarbures élevées par rapport à la norme N.A.S. Les hydrocarbures sont considérés comme très nocifs parmi les polluants qui affectent l'environnement marin. Leur quantification et leur caractérisation précise s'avèrent d'un intérêt primordial pour la connaissance du facteur pollution en milieu marin, et plus particulièrement en milieu côtier. En effet, dans ces dépôts peu profonds, les phénomènes de remise en suspension remettent en circulation dans le milieu de tels composés organiques par désorption et relargage dans les eaux. Sans être alarmiste, il ne faut toutefois pas minimiser le phénomène de pollution par les hydrocarbures.

RÉFÉRENCES

[1] Aloisi J.C., Cauwet G., Gadel F., Got H., Monaco A., Vile F., Causse C., Pagnon M., Contribution à l'étude de la sédimentation récente et de la pollution sur le plateau continental du golfe du Lion entre Fos-sur-Mer et Sète, Bull. BRGM. Section iv, (2) (1976) 69–83.

[2] Anderson R.F., Rowe G.T., Kemp P.F., Trumbore S., Biscaye P., Carbon budget for the mid-slope depocenter of the Middle Atlantic Bight, Deep-Sea Res. part 2, 41 (1994) 669–703.

[3] Andreux F., Golebiowska D., Chonet T., Jacquin F., Metche M., Caractérisation et transformation en milieu marin d'un

- modèle humique issu de l'auto-oxydation du système catécholglycine et marqué sélectivement au carbone, in: International Atomic Energy Agency (Ed.), Soil organic matter studies, Vienne (1977) 43–57.
- [4] Bakalem A., Aménagement du littoral ouest : problèmes de pollution marine, étude préliminaire de la zone Arzew-Mers-El-Hadjadj, Cahiers géogr. de l'ouest, université Oran (1980) 115–149.
- [5] Bakir M., Étude de l'ostracofaune du plateau continental de l'oued Chélif et du golfe d'Arzew (marge algérienne), relation microfaune–environnement, thèse de magistère, université d'Alger, USTHB, 1992, 54 p.
- [6] Bouloubassi I., Saliot A., Study of the partitioning of hydrocarbons into dissolved and particulate phases in the Rhône delta; consequences on estimations of hydrocarbons fluxes, in: Martin J.M., Barth H. (Eds.), Proceedings of EROS Symposium, Blanes, Espagne, 6–9 février 1990, Water Pollution Research, Report 20, CEC, Bruxelles (1990) 231–237.
- [7] Bouvy M., Rôle des microflore bactériennes dans les transferts d'énergie au sein d'une station intertidale subantarctique, thèse de 3^e cycle, univ. Claude-Bernard, Lyon-I, 1985, 135 p.
- [8] Buscaïl R., Le cycle du carbone sur une marge continentale : aspects biogéochimiques du transfert de la matière organique à l'interface eau–sédiment, thèse doctorat d'État, univ. Perpignan, 1991, 641 p.
- [9] Buscaïl R., Gadel F., Transfer and biogeochemistry of organic matter at sediment-water interface on the northwestern Mediterranean margin, in: Berthelin J., (Ed.), Diversity of Environmental Biogeochemistry, Elsevier Sci. Publ., Amsterdam, 13, 1991, 113–130.
- [10] Buscaïl R., Germain C., Present-day organic matter sedimentation on the NW Mediterranean margin: importance of off-shelf export, *Limnol. Oceanogr.* 42 (2) (1997) 217–229.
- [11] Buscaïl R., Pocklington R., Dumas R., Guidi L., Fluxes and budget of organic matter in the benthic boundary layer over the northwestern Mediterranean margin, *Cont. Shelf Res.* 10 (9–11) (1990) 1089–1122.
- [12] Buscaïl R., Pocklington R., Germain C., Seasonal variability of the organic matter in a sedimentary coastal environment: sources, degradation and accumulation (continental shelf of the Gulf of Lions-NW Mediterranean Sea), *Cont. Shelf Res.* 15 (7) (1995) 843–869.
- [13] Caulet J., Les sédiments organogènes du précontinent algérien, *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat., série C, XXV, fascicule unique* (1972) 289 p.
- [14] Cauwet G., Optimisation d'une technique de dosage du carbone organique des sédiments, *Chem. Geol.* 16 (1975) 59–63.
- [15] Cauwet G., Automatic determination of dissolved organic carbon in sea water in the sub-ppm range, *Mar. Chem.* 14 (1984) 297–306.
- [16] Chouteau J., Guiliano M., Mille G., Arlhac A., Étude des variations saisonnières de la teneur en hydrocarbures de l'eau de mer et des sédiments marins sur la côte bleue (Bouches du Rhône), rapport du service maritime et des ponts et chaussées, Côte d'Azur (France), CSM Marseille (1979) 60 p.
- [17] Colombo J.C., Pelletier E., Brochu C., Kahlil M., Catoggio J.A., Determination of hydrocarbons sources using *n*-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes, Case study: Rio de la Plata estuary, Argentina, *Environ. Sci. Tech.* 23 (1989) 888–894.
- [18] Debyser Y., Gadel F., Géochimie des Kérogènes dans les sédiments, in: Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon IV, golfe d'Aden, mer d'Oman, CNRS (éd.), Paris (1981) 447–482.
- [19] Debyser Y., Gadel F., Géochimie des Kérogènes, in: Géochimie organique des sédiments marins d'Orgon à Misedor, CNRS (éd.), Paris, 1983, 421–450.
- [20] Duchaufour P., Pédologie. I – Pédogenèse et classification, Masson, Paris, 1977, 477 p.
- [21] Duchaufour P., Jocteur-Monrozier L., Pelet R., Optical and geochemical studies of granulometric fractions from recent marine sediments, *Org. Geochem.* 6 (1984) 305–315.
- [22] Farrington J.W., Meyers P.A., Hydrocarbons in the marine environment, in: Eglington G., (Ed.), Environmental chemistry, 1 (1975) 109–136.
- [23] Foudil-Bouras A.E., Étude géochimique organique des sédiments superficiels du golfe d'Arzew (ouest algérien), thèse de magistère, USTHB, 1993, 149 p.
- [24] Gadel F., Géochimie des composés humiques dans les dépôts superficiels, in: Biogéochimie de la matière organique à l'interface eau–sédiment marin, colloque interne du CNRS, 293 (1980) 45–60.
- [25] Hedges J.I., Hare P.E., Amino acid adsorption on clay minerals in distilled water, *Geochim. Cosmochim. Acta* 43 (1979) 1803–1807.
- [26] Henrichs S., Early diagenesis of organic matter: the dynamics (rates) of cycling of organic compounds, in: Engel M.H., Macko S.A., (Eds.), Organic Geochemistry, Plenum Press, New York, 1993, 101–117.
- [27] Henrichs S., Farrington J.W., Peru upwelling region sediments near 15° S. 1. Remineralization and accumulation of organic matter, *Limnol. Oceanogr.* 29 (1984) 1–19.
- [28] Huc A.Y., Origin and formation of organic matter in recent sediments and its relation to kerogen, in: Durand B. (Ed.), Kerogen, Technip (1980) 445–474.
- [29] Huc A.Y., Durand B., Jacquin F., Caractérisation des acides humiques de sédiments marins récents et comparaison avec leurs homologues terrestres, *Bull. E.N.S.A.I.A. de Nancy, XVI, I-II* (1974) 59–75.
- [30] Jocteur-Monrozier L., Jeanson P., Caractères généraux et évolution de l'azote organique dans les sédiments superficiels, in: CNRS (éd.), Géochimie organique des sédiments marins profonds, Orgon IV, golfe d'Aden, mer d'Oman, Paris, (1981) 503–526.
- [31] Kristensen E., Blackburn T.H., The fate of organic carbon and nitrogen in experimental marine sediment systems : influence of bioturbation and anoxia, *J. Mar. Res.* 45 (1987) 231–257.
- [32] Lacaze J.C., La pollution pétrolière en milieu marin, Masson, 1980, 118 p.

- [33] Lacombe H., Tchernia P., Quelques traits généraux de l'hydrologie méditerranéenne, *Cah. Océanogr.* XII (8) (1960) 528–547.
- [34] Leclaire L., Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares (Précontinent algérien), *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat. série C*, XXVI, fascicule unique, 1972, 382 p.
- [35] Maouche S., Mécanismes hydrosédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique, thèse de 3^e cycle, univ. Perpignan, 1987, 214 p.
- [36] Mille G., Dou H., Christiani G., Guisti G., Hydrocarbures présents dans les sédiments côtiers superficiels et méditerranéens, I : Étude qualitative et quantitative fine, *Environ. Poll.* 2 (1981) 437–450.
- [37] Monoley C.L., Field J.G., Modelling carbon and nitrogen flows in a microbial plankton community, in : P.C. Reid et al. (éd.), *Protozoa and their role in marine processes*, Springer (1991) 443–474.
- [38] Müller P.J., C/N ratios in Pacific deep-sea sediments: effects of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays, *Geochim. Cosmochim. Acta* 41 (1977) 765–776.
- [39] Müller P.J., Suess E., Productivity, sedimentation rate and sedimentary carbon content in the oceans, 1- Organic carbon preservation, *Deep-Sea Res.* 26A (1979) 1347–1362.
- [40] Ovchinnikov I.M., Circulation in the surface and intermediate layers of the Mediterranean, *Oceanology* 6 (1966) 48–59.
- [41] Parlanti E., Utilisation des hydrocarbures comme traceurs d'origine et d'évolution de la matière organique sédimentaire en milieu marin, étude du golfe du Lion et du golfe de Gascogne (Programme Ecomarge), thèse de doctorat, univ. Bordeaux-I, 1990, 289 p.
- [42] Pauc H., La nature minéralogique des apports en suspensions sur la marge algérienne et leur relation avec les sédiments, Actes du 3^e Congrès français de sédimentologie, Brest 18–20 novembre 1991 (1991) 225–226.
- [43] Pelet R., Preservation and alteration of present day sedimentary organic matter, in : Bergen (Ed.) *Advances in Organic Geochemistry*, 1981, 241–250.
- [44] Pelet R., Sédimentation et évolution géologique de la matière organique, *Bull. Soc. Geol. France* 7 (1985) 1075–1086.
- [45] Rashid M.A., *Geochemistry of marine humic compounds*, Springer-Verlag, Berlin, 1985, 354 p.
- [46] Romankewich E.A., *Geochemistry of organic matter in the ocean*, Springer-Verlag, Berlin, 1984, 334 p.
- [47] Rosenfeld J.K., Nitrogen diagenesis in Long Island Sound sediments, *Am. J. Sci.* 281 (1981) 436–462.
- [48] Sicre M.A., Marty J.C., Saliot A., Aparicio X., Grimalt J., Albaiges J., Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean sea: occurrence and origin, *Atm. Environ.* 21 (1987) 2247–2259.
- [49] Sorensen J., Jorgensen B.B., Early diagenesis in sediments from Danish coastal waters: microbial activity and Mn-Fe-S geochemistry, *Geochim. Cosmochim. Acta* 51 (1987) 1583–1590.
- [50] Taupier-Letage I., Biodynamique du bassin algérien, estimation de la réponse biologique à certaines structures hydrodynamiques de moyenne échelle par télédétection (AVHRR et CZCS) et mesures in situ, doct. univ. Aix-Marseille-II, 1988.
- [51] Vandebroucke M., Pelet R., Debyser Y., Geochemistry of humic substances in marine sediments, in: Aiken G.R., Mc Knight D.M., Wershaw R.L., MacCarthy P., (Eds.), *Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization*, JohnWiley & Sons, 1985, 249–273.
- [52] Van Krevelen D.N., *Coal*, Elsevier, Amsterdam, 1961, 514 p.
- [53] Venkatesan M.I., Steinberg S., Kaplan I.R., Organic geochemical characterization of sediments from the continental shelf south of New England as an indicator of shelf edge exchange, *Cont. Shelf Res.* 8 (1988) 905–924.